

TARTU ÜLIKOOL
MATEMAATIKA-INFORMAATIKATEADUSKOND
Arvutiteaduse Instituut
Infotehnoloogia eriala

Reigo Liiv

LEGO MINDSTORMS NXT: kolmesuunalise kaugusanduri
NXTSumoEyes tutvustus ja ülesanded

Bakalaureusetöö (6 EAP)

Juhendaja: Anne Villems

Kaasjuhendaja: Taavi Duvin

Autor: “ ” juuni 2011

Juhendaja: “ ” juuni 2011

Kaasjuhendaja: “ ” juuni 2011

Lubada kaitsmisele

Professor: “ ” juuni 2011

TARTU 2011

Sisukord

Sissejuhatus.....	4
1. Infrapunakiirgus.....	6
1.1 Infrapunavalguse avastamine	6
1.2 Infrapunakiirguse olemus	7
1.3 Infrapunktiirguse kasutus	8
1.3.1 Infovahetamine infrapunakiirtega.....	8
1.3.2 Pimedas nägemine	10
1.3.2.1 Miliaarne kasutus pimedas nägemisele.....	11
1.3.2.2 Auto pimedas nägemine.....	12
1.3.3 Universumi ja kosmose uurimine.	13
1.4 Peegeldumine	13
2. NXTSumoEyes kaugusandur.....	16
2.1 NXTSumoEyes anduri ühendamine ja mõõteinfo lugemine.....	18
2.2 NXTSumoEyes anduri paigaldamine roboti külge	19
2.3 NXTSumoEyes anduri juhtploki lisamine LEGO MINDSTORMS NXT Edu 2.0 programmi juurde.....	20
2.3.1 NXTSumoEyes anduri ploki installimine NXT-G programmeerimiskeskonda....	20
2.3.2 NXTSumoEyes anduri plokk.....	22
3. Ülesandeid NXTSumoEyes andurile	25
3.1 Ülesanne 1. Kaugusanduri väärtuse jälgimine	25
3.2 Ülesanne 2: Keerutaja	29
3.3 Ülesanne 3: Valvur.....	33
Sõnastik.....	38
Kokkuvõte.....	39
Allikad.....	40
LISAD	44

Lisa 1. CD ülesannete lahendusfailidega	44
---	----

Sissejuhatus

Tänapäeval koolis omandatav baasharidus on suurel määral teoreetiline. Alklassides suudetakse õpilased kaasa mõtlema panna läbi mängu ja loovuse. Vanemas kooliastmes asendub lõbus mäng erinevate teoreemide ja valemite pähe tuupimisega. Kuigi tegelik soovitatav tulem on õpilasi panna aru saama teooriast, siis puhtalt tahvlile kirjutatavate väidete ja valemitega see alati ei õnnestu. Palju annab see tunda just reaalinete juures, nagu matemaatika, füüsika, keemia ja informaatika. Eelnevate aine tundides on märgata, et neid, kes seletatavast teooriast täies mahus aru saavad, leidub terve klassi peale mõned üksikud. Õpilasel puudub motivatsioon õpitavat endale selgeks teha tihtipeale sellepärast, et ta ei suuda leida seost reaalse elu ja õpitava vahel. Arusaamisele aitab alati kaasa praktilise kasutusvõimaluse väljatoomine. Samuti võib peale olemasoleva ja töötava objektiga tegelemist teoreetiline pool üllatavalt lihtne olla.

Praktilisele õpetamismeetodile aitab suuresti kaasa 2007. aastal käivitatud Kooliroboti projekt, mille eesmärk on edendada inseneriteadust koolides. Projekti raames tutvustatakse koolidele LEGO MINDSTORMS NXT robotikakomplekti, korraldatakse kursusi õpetajatele ning antakse õpilastele õppematerjalid, mis võimaldavad teadmisi rakendada reaalse ehitatud roboti peal. Koolid ise peavad muretsema enda robotikakomplektid [1].

LEGO MINDSTORM NXT robotika komplekti standardvarustusse kuuluvad intelligentne NXT juhtplokk, kaugus-, heli-, puute- ja valguseandur, mootorid, taaslaetav aku ja lambid. Samuti on komplektis kaablid mainitud mootorite ja andurite ühendamiseks ning LEGO klotsid roboti ehitamiseks. Kaasasolevad andurid annavad võimalusi luua erinevate funktsioonidega roboteid. Teatud hetkel saavad varustusse kuuluvad andurid ja nende funktsioonid läbi proovitud. Selleks, et robotit ei peaks nüüd nurka viskama, on erinevad firmad (Mindsensors [2], HiTechnic [3], Vernier [4]) loonud hulga lisaandureid, millega roboti tajumispiire suurendada. Lisaandurid pakuvad võimalusi alates süsihappegaasi koguse õhus mõõtmisest kuni magnetvälja mõõtmiseni.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on firma Mindsensor NXTSumoEyes kolmesuunalise kaugusanduri uurimine, tööpõhimõtete ja programmeerimise selgitamine. Töö käigus tutvustatakse anduri töötamist, mis põhineb infrapunakiirguse tagasipeegeldumise printsiibil. Koos LEGO MINDSTORMS NXT robotikakomplekti ja uuritava anduriga luuakse erinevad ülesanded, mis on jaotatud erinevate raskustasemetega vahel. Kirjeldatud ülesannete juures tuuakse välja ka tekkida võivad probleemid ja nende lahendused. Ülesannete kirjeldustes ja lahendustes eeldatakse, et lugeja on kursis lihtsamate arvutialaste mõistetega. Loodud ülesandeid on võimalik kasutada koolides tegutsevates robotikaringides, et reaallainetes õpitut teooriat kinnistada.

Antud bakalaureusetöö koosneb kolmest osast:

1. Infrapunakiirguse tutvustamine, kus antakse ülevaate infrapunakiirguse olemusest ja kasutusvõimalustest.
2. NXTSumoEyes anduri tööpõhimõtte, kasutamine ja programmeerimine
3. Ülesanded, mis on mõeldud lahendamiseks koos NXTSumoEyes anduriga. Samuti on kirjas võimalikud lahendused programmeerimiskeeles NXT-G antud ülesannetele.

Bakalaureusetöös kirjutatud tekst peab olema võimalik üheselt mõistetav ja kergesti loetav. Töö struktuur peab järgima etteantud vormistusnõudeid. See on vajalik selleks, et antud bakalaureusetööd oleks võimalik kasutada Martin Suvorovi poolt RAJU keskusele loodavas materjale haldavas infosüsteemis [5].

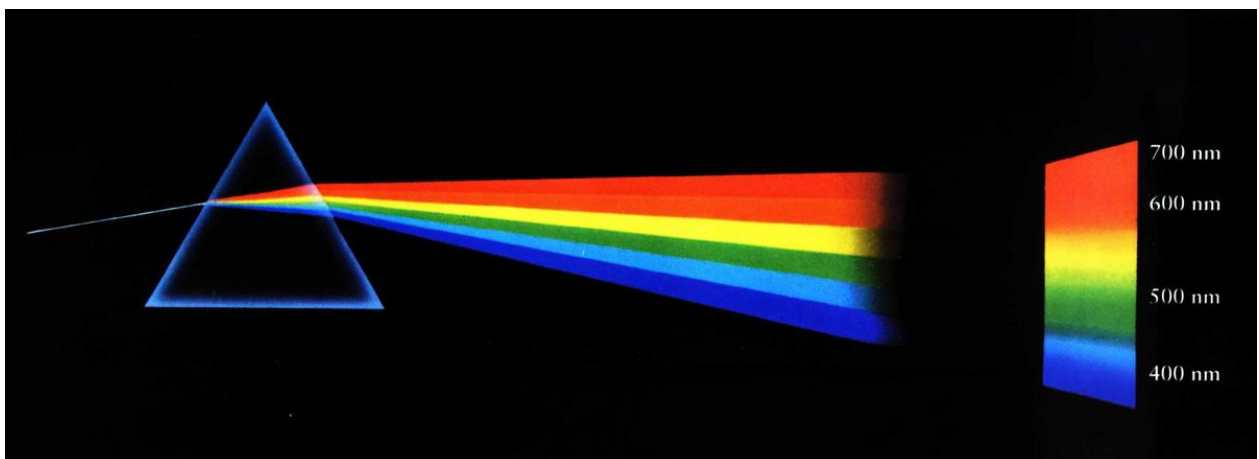
1. Infrapunakiirgus

Selleks, et uurida NXT kolmesuunalist kaugusandurit, mis töötab infrapunavalguse kiirte peegeldumise põhimõttel, on vaja selgitada, mis asi on infrapunakiirgus/-valgus. Järgnevas peatükis seletatakse infrapunakiirguse avastamist ja olemust.

1.1 Infrapunavalguse avastamine

Infrapunavalgus ehk teisisõnu infrapunakiirgus avastati 1800. aastal. Selle avastajaks oli Saksamaal Hannoveri linnas sündinud Sir Frederick William Herschel, kes oli tuntud nii muusiku kui ka astronoomina.

Herchel esitas hüpoteesi, et erinevad valgused (roheline, kollane, sinine jne) võivad kiirata erineval hulgal soojust. Tõestamiseks suunas ta päikese valguse läbi klaasist prisma, et lahutada valgus erinevateks valgusspektri osadeks (vt joonis 1).



Joonis 1: Valguse murdumine läbi prisma. Erinevate valgusvärvide lainepikkused nm (nanomeetrites).
[6]

Seejärel kasutas ta kolme termomeetrit, mille klaasid oli tumendatud, selleks et paremini soojust neelata. Ühte termomeetrit asetaskordamööda erinevatele värvusaladele ja

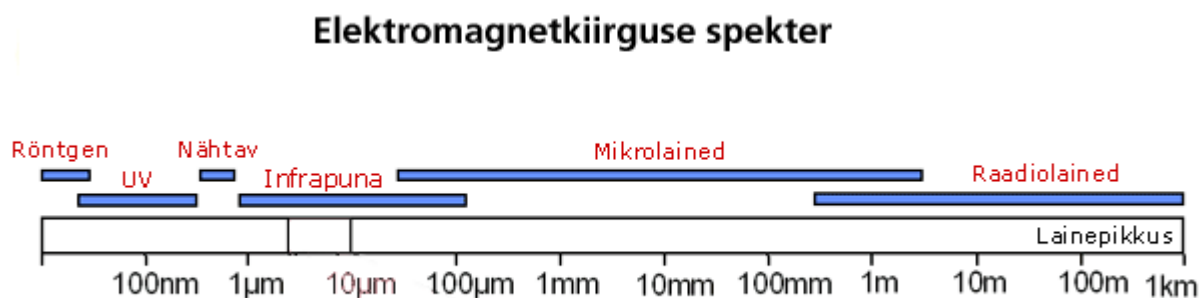
teised kaks termomeetrit olid väljaspool värvide ala. Need kaks termomeetrit olid kontrollimõõtmisteks, et võimalikult täpselt võrrelda temperatuuri erinevusi.

Mõõtmise käigus avastas Hercel, et erinevate värvide juures mõõdetud termomeetri näit oli kõrgem kui kontrolltermomeetritel, mis asusid kõrval varjulisel alal. Teiseks avastuseks oli see, et temperatuuri näit kasvas violetse värvi poolt punase värvi poole. Peale teatava mustri täheldamist otsustas Hercel mõõta temperatuuri ka punase ala kõrvale jääval alal, kuhu silmaga ei paistnud ühtegi värvust langevat. Tema suureks üllatuseks oli punase värvi kõrval oleval alal eelnevate mõõtmistulemustega võrreldes kõige kõrgem temperatuur. Hercel nimetas oma avastuse küttekiirteks (ingl.k *calorific*). Oma edasistes katsetes tõestas ta, et antud kiired peegelduvad, murduvad, neelduvad ja levivad samamoodi nagu nähtav valgus. Hiljem nimetati avastatud valguskiired ümber infrapunakiirguseks (*infra* - Ladina keeles “alla”, ehk siis allapoole punast jääv kiirgus) [7].

Olles tutvunud ajalooga, tutvume infrapunakiirguse tänapäevase kirjeldusega.

1.2 Infrapunakiirguse olemus

Infrapunakiirgus ehk infrapunane kiirgus on elektromagnetkiirgus, mille lainepikkus jääb nähtava valguse ja mikrolainekiirguse lainepikkuste vahele (lainepikkusega $0.7 \dots 300 \mu\text{m}$) (vt joonis 2). Infrapunakiirgus ei ole inimsilmale vahetult nähtav [8].



Joonis 2: Elektromagnetkiirguse spekter, kus on välja toodud erinevate elektromagnetlainete lainepikkused. [9]

Kui uurida, kust infrapunakiirgus tekib, siis saame teada, et Maani jõudva päikesevalguse üks komponente on infrapunakiirgus. Päikesevalgus koosneb ultraviolet-, nähtavast- ja

infrapunavalgusest. Kogu maapinnale jõudvast valgusest moodustab nähtav valgus 52%, infrapunane kiirgus 43% ja ultraviolettkiirgus 5% kogu valguse tervikust [10, 11]. Seega, kui võtta päikesevalgus, mis pakub kiirgusintensiivsust umbes 1kW, siis see koosneb 527W ulatuses infrapunakiirgusest, 445W nähtavast valgusest ja 32W ultraviolettkiirgusest (Vattides, ühikutähisega W, mõõdetakse päikesekiirituse intensiivsuse hulka ajaühikus, ehk kui palju energiat annab valgus, mis paistab 1m² pinna peale [12]).

Infrapunakiirgust jaotatakse lainepikkuse järgi kolmeks [13]:

- Lähi-infrapunakiirgus: kasutatakse fiiberoptilistes kaablites info edastamiseks ja ka näiteks pimedas nägemiseks mõeldud prillides (*night vision goggles*) [14].
- Keskmine infrapunakiirgus: sõjaväelises kasutuses olevad soojustundlikult juhitud raketid.
- Kaug-infrapunakiirgus: Kiirgus, mida kiirgavad soojad kehad (lõke, inimene, tähed).

Nagu näha, siis infrapunakiirgust on kõikjal meie ümber ja miks siis mitte seda ära kasutada endale sobivalt ära kasutada.

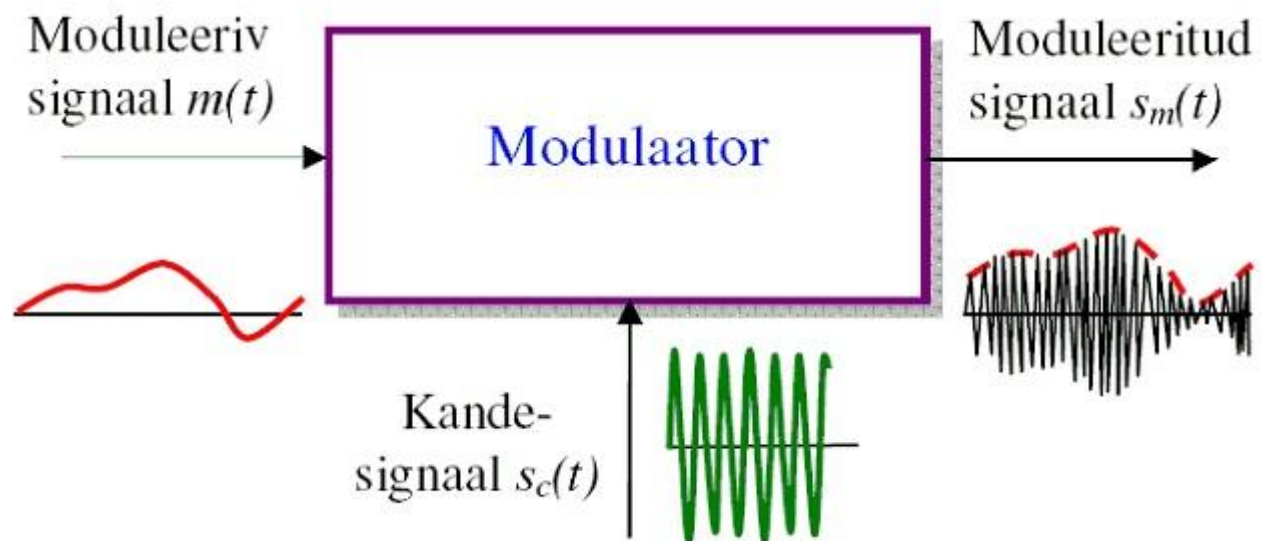
1.3 Infrapunktiirguse kasutus

Kui hakata täpsemalt uurima, siis võib tähele panna, et tänapäeval kasutavad inimesed infrapunavalgust/-kiirgust üsna palju. Järgnevas peatükis on välja toodud mõned infrapunakiirguse kasutusvaldkonnad.

1.3.1 Infovahetamine infrapunakiirtega

Infrapunavalgust kasutatakse info vahetamiseks televiisori-, raadio jms kaugjuhtimispuldi ja seadme vahelisel suhtlusel. Selleks, et pult saadaks infrapunakiirega vastuvõetavale seadmele vajamineva informatsiooni, toimub infrapunakiire moduleerimine. Modulatsioon on informatsiooni edastamiseks kasutatava füüsikalise nähtuse (elektrivool, elektromagnetväli jne.) mingi parameetri muutmine vastavalt ülekantava signaali muutusele.

Signaali saatmiseks sisestatakse modulaatorisse (seade, mis tegeleb moduleerimisega) väljasaadetav signaal. Modulaatoris lisatakse antud signaalile kandesignaali, mis on näiteks mingi kindla sagedusega signaal. Seejärel saadetakse modulaatorist välja moduleeritud signaal, kus on omavahel kokku liidetud moduleeriv signaal ja kandesignaali. Tänu modulaatoris lisatud kandesignaali tunneb vastuvõtja ära, et sissetulev signaal on just sellele vastuvõtjale mõeldud signaal. (vt joonis 3).[15]



Joonis 3: Modulatsioon. [15]

Infrapunavalguskiirguse modulatsioon on tegevus, millega saatja pannakse vilkuma mingi kindla sagedusega, mis on määratud ka vastuvõtjavale seadmele. Modulatsioon on vajalik selleks, et väljasaadetav signaal oleks eristatav muust keskkonna müra ja vastuvõtja saaks aru, et käsk tuleb just temale mõeldud saatjast.[15,16]

1.3.2 Pimedas nägemine

Pimedas nägemisega tulevad kindlasti esimese asjana meelde sõja ja spioonifilmides nähtud seadeldised, mida kasutades näeb seadmekandja rohelistes toonides pilti. Tegemist ei ole ulmefilmides väljamõeldud seadeldistega, vaid päriselt eksisteerivate seadmetega. Antud “prillides”, mis võimaldavad pimedas näha, kasutatakse selle efekti saamiseks kahte erinevat tehnoloogiat:

1. Kujutise võimendamine, mis töötab nii, et kogutakse kokku kõige väiksemgi valguskogus, sealhulgas ka infrapunakiirguse madalam valgusspektriosa, mis on olemas, kuid inimsilmale nähtamatu. Seejärel võimendatakse saadud informatsiooni nii palju, et inimsilmale muutub pimedus nähtavaks. Üldiselt kasutatakse pildi kujutamisel rohelist värvi, kuna inimese silm suudab antud värvust kõige paremini eristada.
2. Soojuskujutise tehnoloogia - püütakse infrapunakiirguse ülemist valgusspektriosa, mida kiirgavad soojad objektid (lõke, inimkeha) ja kujutatakse seda pildina (vt joonis 4). Mida kuumem on keha, seda heledam on vastav pildiosa ja külmemad kujutise osad kujutatakse mustana. [17]



Joonis 4: Infrapuna soojuskujutis pilt temperatuuriskaalaga. [18]

Eelneva 2 tehnoloogia võrdlemiseks on võimalik vaadata videot [19], kus on illustratiivselt välja toodud nende erisused ja eelised.

1.3.2.1 Miliaarne kasutus pimedas nägemisele

Infrapunakiirgust kasutatakse ka sõjaväeliselt. Põhiliselt on eesmärgiks sihtmärgi tuvastamine ja jälgimine ning navigatsioon. Infrapunakiirguse kaamerad võimaldavad hävituslennuki pilootidel lennata igasuguse ilmaga (vt joonis 5).



Joonis 5: Lennuki ekraanipilt infrapunakiirguse vaatega. [20]

Tänu sellele, et infrapunakiirgus levib ka läbi pilvede, on sellest kasu ka pilootidel. Infrapuna kaameratega on lihtne pimedas manööverdada ja maanduda. Sõjalennukitega on võimalik halva nähtavuse korral vaenlane üles leida nii maapinnalt kui õhust (vt joonis 6). Ka tiheda lehestikuga mets ei suuda infrapunakiirguskaamera eest inimest või sõjatehnikat ära varjata. Lisaks ilmastiku ja loodusnähtustele võivad piirata nähtavust ka suits, mida võivad tekitada erinevad põlevad esemed, Ka sellisel juhul aitab infrapunakaamera võimalikku suitsu taha peituvat vaenlast avastada.[21]



Joonis 6: Tank läbi infrapunakiirguskaamera. [22]

Kui kunagi oli selline võimalus pimedas näha kättesaadav ainult militaarsetele üksustele, siis tänaseks on selline võimalus ka liikluses olevatesse autodesse jõudnud.

1.3.2.2 Auto pimedas nägemine

Kuigi autodel on olemas tuled, siis alati ei ole need piisavalt eredad, et valgustada ära kõike teel olevat. Näiteks vihmase ilmaga muutub teel nähtavus oluliselt kehvemaks kuna märjaga tumedamaks muutunud tee ei peegelda piisavalt valgust tagasi.

Selleks, et liiklemine halva nähtavusega teel oleks ohutum, on autotootjad võtnud kasutusele infrapunakiirguskaamerad. Kaamerate pilt suunatakse auto armatuuri, kus juhil on palju paremini pimedas näha teed või võimalikku takistust (vt joonis 7). [23]



Joonis 7: Infrapunakaamera pilt auto armatuuris [24].

Esialgu pakutakse infrapunakaamera funktsiooni küll ainult kallimate mudelite lisavarustuses, kuid nagu aeg on näidanud, tulevad kunagi ainult luksusautodes olevad lisafunktsioonid kasutusele ka tavalistes pereautodes.

1.3.3 Universumi ja kosmose uurimine.

Üks valdkond, milles infrapunavalgus ja võime seda mõõta on kaasa aidanud, on kindlasti universumi sünniga kaasnenud sündmuste uurimine.

Teleskoopidega, mis on varustatud infrapunasensoritega - infrapunateleskoopidega, on võimalik avastada ning uurida molekulaarpilvi ja madala temperatuuriga taevakehi, näiteks planeete [8, 25]. Tänu infrapunasensoritega varustatud teleskoopidele on astronoomid meist kaugel asuvate ja eelnevalt optilistele teleskoopidele läbimatute tolmutilvede varju jäänud aladelt avastanud kiirgusjälgi, mis pärinevad nimelt universumi sünnil toimunud “Suure Pangu” tagajärgedest. Suurema huvi korral on võimalik kosmose ja selle avastamist infrapunakiirguse abil edasi uurida NASA internetilehekülgedelt [26].

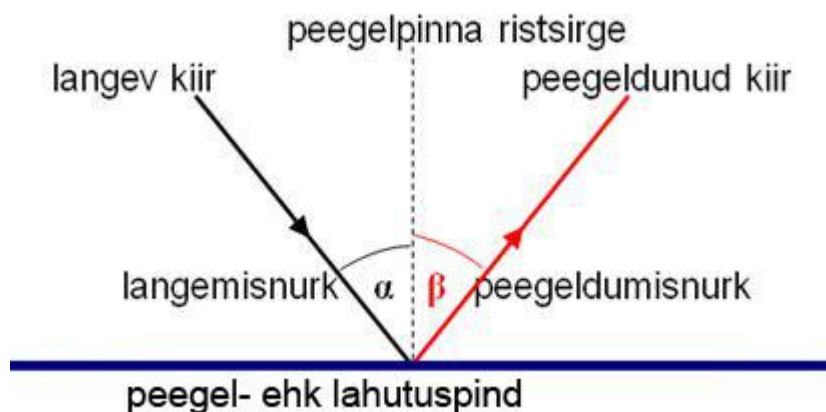
Nagu eelnevast lõigust võib lugeda, kasutatakse infrapunakiirgust nii igapäevases kodukeskkonnas, kui ka kõrgetasemelises kosmose- ja militaartehtnikas, mis näitab infrapunakiirguse laiahaardelist kasutust.

1.4 Peegeldumine

Enne uuritava anduriga tutvumist tuleb veel uurida valguse peegeldumist, kuna antud andur kasutab infrapunakiirgust ja selle tagasipeegeldumist erinevatelt objektidelt.

Peegeldumine optikas tähendab valguskiire suunamuutust. Valguskiir levib keskkonnas sirgjooneliselt, kuni jõuab kahe keskkonna lahutuspinnani. Jõudes lahutuspinnani, muudab langev valguskiir oma suunda (joonis 8). Pinna suunas liikuvat kiirt nimetatakse langevaks kiireks ja sealt eemalduvat – peegeldunud kiireks. Langeva kiire ja pinna ristsirge vahelist nurka nimetatakse langemisnurgaks, mida tähistatakse kreeka tähega α . Ristsirge ja

peegeldunud kiire vahele jääb peegeldumisnurk, mille tähis on β . Langemisnurk on alati võrdne peegeldumisnurgaga, ehk $\alpha = \beta$. [27]



Joonis 8: Kiirte peegeldumine

Infrapunakiirgus on üks valguse liike, seega peegeldub see erinevatelt pindadelt sarnaselt nähtavale valgusele. Samamoodi nagu nähtavat valgust mõjutavad peegeldava pinna värv, kuju, materjal jms, mõjutavad need ka infrapunakiirgust.

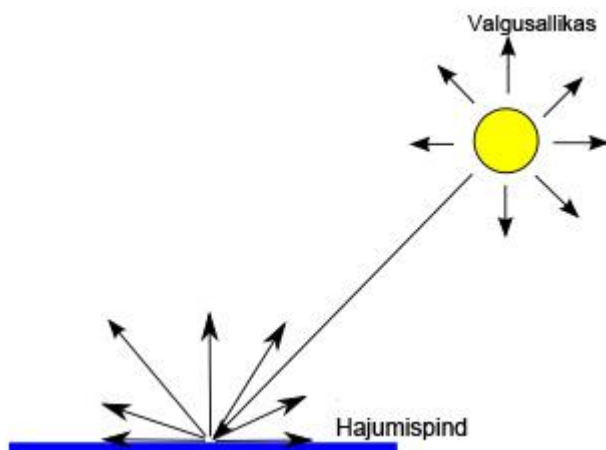
Peegeldumise arvuliseks näitamiseks on olemas Albeedo efekt – pinna peegeldumisnäitaja, mille väärtus on arv 0 ja 1 vahel, ja mida väljendatakse ka protsentides 0...100%. Albeedo näitab peegelduva kiirguse intensiivsust võrreldes pealelangeva kiirgusega [28]. Tumedamat värvi objektid neelavad rohkem valgust ja heledamad peegeldavad rohkem tagasi. Näiteks suure osa infrapunakiirgust neelab ära vesi, mille Albeedo efekt on väike, samas palju valgust peegeldab valge paberileht, mille Albeedo efekt on suurem.

Mõned näited erinevate materjalide valguse tagasipeegeldumisest protsentides on välja toodud allolevas tabelis 1.

Keha	Peegeldunud valguse hulk
Kriitpaber	85%
kirjutuspaber	60-80%
Värske lumi	85%
Inimese nahk	35%
Must samet	0,5%

Tabel 1: Valguse peegeldumine kehade pindadelt [29].

Võiks arvata, et kiir peegeldub tagasi ainult saatjaga risti olevalt objektilt ja seega ei ole võimalik kõikjalt tagasipeegelduvat infrapunakiirgust mõõta. Tegelikult pole ükski pind ideaalselt sile, et toimuks peegeldumine nagu joonisel 8. Igal pinnal/materjalil esinevad miniatuursed ebataasasused, millelt peegeldatakse andurile mõõtmiseks vajaminev kiirgus tagasi, ehk toimub valguskiire hajumine, mida illustreerib joonis 9. Hajumine on protsess, mille käigus kiirgus (valgus, heli, osakeste voog) kaldub kõrvale oma sirgjoonelisest liikumistrajektoorist tänu kokkupõrkele oma liikumisteel oleva objektiga [30]. Näiteks võib ette kujutada diskopalli, millel suunatakse peale üks valgusvihk mõnelt lambilt ja kuidas diskopall seda valgust ruumi laiali peegeldab. Seega, kui poleks hajumist, siis toimuks ideaalne peegeldus nagu joonisel 8. Tänu hajumisele jõuab enamuselt pindadelt mingi osa välja saadetud kiirgusest tagasi anduri vastuvõtjani.



Joonis 9: Valguskiirte hajumine [31].

Eelnevate lõikudega oleme selgeks teinud infrapunakiirguse olemuse ja ka valguse peegeldumise. Nüüd peaks lugeja olema valmis liikuma edasi antud töö juures käsitletava NXTSumoEyes kaugusanduri lähemaks uurimiseks ja õppima seda kasutama.

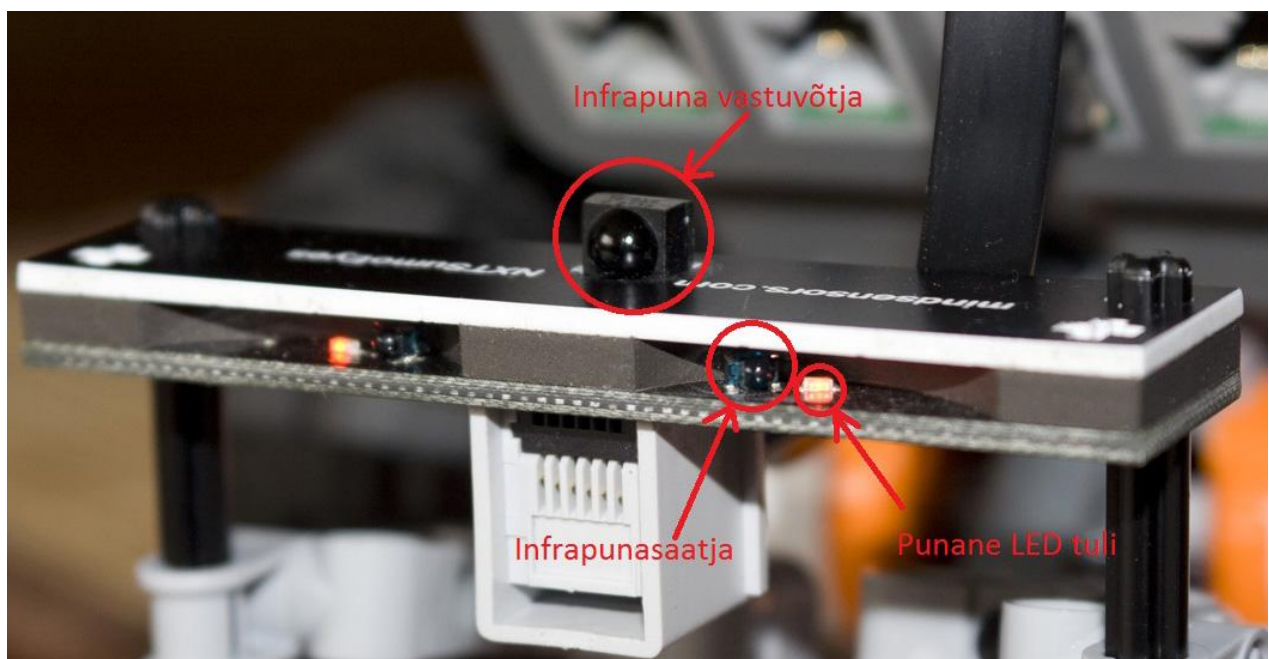
2. NXTSumoEyes kaugusandur

Antud peatükis selgitatakse kaugusanduriga seonduvaid andmeid ja selle tehnilisi külgi.

NXTSumoEyes on takistuse tajumiseks mõeldud andur, mida saab kasutada NXT robotikakomplektiga. Andur on võimeline tajuma takistust vasakult, paremalt ja enda eest kuni 30cm kauguselt. Anduril on mõõtmiseks kaks eraldi skaneerimiseks kasutatavat kaugusulatust.

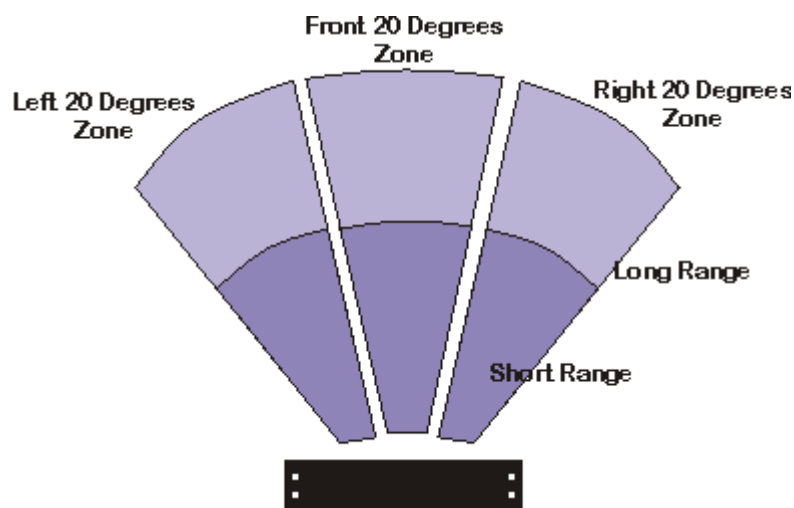
Andur on algselt juba kalibreeritud, ehk seadistatud ning ei vaja ühendamisel ja kasutamisel edasist seadistamist. Seega on andur valmis töötamiseks kohe peale pakendist välja võtmist ja mõõtma vajalikke andmeid.

Anduri peamised infot koguvad komponendid on välja toodud joonisel 10. Anduri peal asub üks infrapuna vastuvõtja. Vastuvõtja loeb kahe infrapunasaatja väljasaadetavaid ja tagasi peegelduvaid infrapunakiiri. Mõlema infrapuna saatja kõrval asub üks punane LED tuli, mille peamine funktsionaalsus on visuaalne ehk olla nõ roboti silmade asukoha näitamiseks.



Joonis 10: NXTSumoEyes andur.

Anduri tsoonid ja kaugused, ehk ala, millelt andur on võimeline objekti mõõtma, jaotuvad nii, nagu on välja toodud joonisel 11. Tumelilla ala näitab lühemat mõõterežiimi, mille mõõtekaugus on kuni 15cm. Heledam lilla näitab pikema mõõterežiimi ulatuse ala, mille mõõtekaugus on kuni 30cm. Kaugema mõõteala seadistus ei välista, et takistust ei mõõdetaks ka lühema mõõterežiimi alast. Seega mõõdetakse takistust kogu pikema mõõteala ulatuses, kaasa arvatud lühem mõõteala. Eelnevad mõõtekaugused 15 ja 30 cm kehtivad juhul, kui infrapunakiire peegeldumine toimub hästipeegeldava pinna pealt. Testimise käigus selgus, et teatud juhtudel (valge paberi puhul), osutusid mõõdetavad kaugused isegi pikemaks kui 15 ja 30 cm. Mõõdetavate kauguste maksimumid tulid vastavalt kuni 32 ja 66 cm. Iga anduri puhul tuleks eelnevalt kontrollida erinevad mõõtekauguste maksimaalsed määrad ning anduri kasutamisel nendega arvestada.



Joonis 11: NXTSumoEyes anduri vaateväli.[32]

Andmed:

Kaal: 11,0 grammi

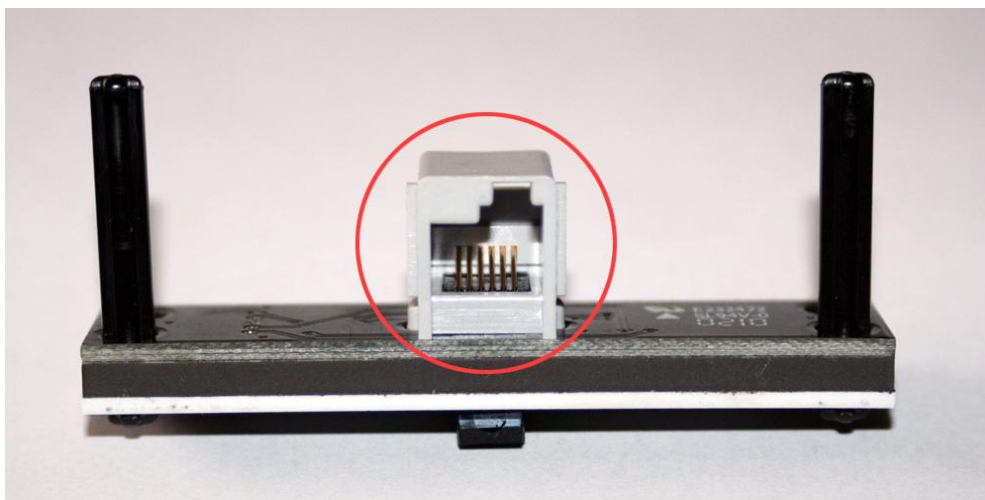
Suurus: 16,4mm x 72,0mm x 25mm

Keskmine voolutarve: 2,6 mA

Olles tutvunud anduri osadega ja tehniliste andmetega, uurime edasi, kuidas andurit NXT juhtploki külge ühendada ning kasutada.

2.1 NXTSumoEyes anduri ühendamine ja mõõteinfo lugemine

Selleks, et robot saaks anduri mõõdetavaid andmeid lugeda, tuleb andur robotiga kaasasoleva kaabliga ühendada suvalisse NXT anduri porti (tähistatud numbritega 1-4). Anduri poolne ühendusots on märgitud punase ringiga joonisel 12.



Joonis 12: NXTSumoEyes anduri ühenduspistik.

Meeles tuleb pidada, et andur ei toeta ADPA (ingl.k. *Auto Detecting Parallel Architecture*), mis võimaldab ühes pordis kasutada mitut seadet, küll aga on võimalik ühendada mõnd digitaalset andurit ühes NXTSumoEyes anduriga, kuna see on analoogandur.

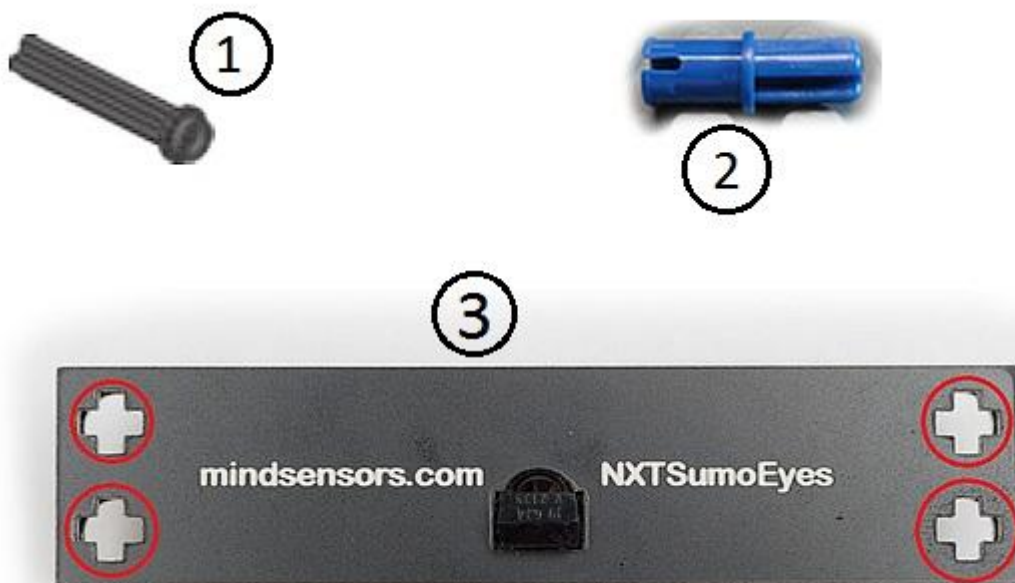
Vastavalt sellele, missugusel alal andur takistust märkab, saadab andur välja väärtuse:

- 30-36, takistus vasakpoolses alas
- 63-69, takistus parempoolses alas
- 74-80, takistus otse ees

Kui väärtuseks on 0, siis anduri mõõtealas pole ühtegi objekti, millelt peegelduks tagasi väljasaadetud infrapunakiir. Teisi väärtuseid, kui eelpool mainitud, ei tohiks andur robotile tagastada. Kui peaks olema nii, siis vajab see juba põhjalikku uurimist, miks andur just nii käitub, või välja selgitamist, kas andur on vigane [33].

2.2 NXTSumoEyes anduri paigaldamine roboti külge

NXTSumoEyes kolmesuunalise kaugusanduri paigaldamiseks NXT roboti külge on anduril olemas neli '+' märgi kujulist paigaldusauku (vt joonis 13), mis sobivad NXT komplektis kaasas olevate risttelgedega (vt joonis 13) või ühendustihvtidega (vt joonis 13). Samas tuleb tähelepanu pöörata sellele, et antud ühendusaugud ei ole mõeldud korduvateks paigaldus- ja eemaldustegevusteks. Seda seetõttu, et ühendusaugud võivad ära kuluda, mille tulemusena ei kinnitu andur enam sama kindlalt ühenduslülide külge. Soovitav on roboti lahtimonteerimisel ühenduslülid anduri külge jätta ja eemaldada ainult robotipoolne ühenduslül ots.



Joonis 13: 1. Risttelg, 2. Ühendustihvt, 3. NXTSumoEyes andur pealtvaates, kus punaste ringidega on märgitud neli nurkades asuvat paigaldusauku.

Olles teinud selgeks NXTSumoEyes anduri paigaldusmeetodi, on vaja välja mõelda, kuhu kohta andur roboti küljes paigaldada. See sõltub suuresti ülesandest programmist, mille tarvis robot valmis tehakse. Järgnevas peatükis tuuakse välja NXTSumoEyes anduri arvutis programmeerimiseks vajalikud teadmised.

2.3 NXTSumoEyes anduri juhtploki lisamine LEGO MINDSTORMS NXT Edu 2.0 programmi juurde

Selleks, et NXTSumoEyes andurit oleks võimalik programmselt juhtida, võib kasutada LEGO NXT programmeerimiskeskonnas olevat valgussensori plokki. Teine võimalus on programmile juurde lisada NXTSumoEyes plokk.

2.3.1 NXTSumoEyes anduri ploki paigaldamine NXT-G programmeerimiskeskonda

Anduri ploki paigaldamiseks (ingl.k. *installing*) tuleb kõigepealt MINDSENSORS koduleheküljelt [2] alla laadida NXTSumoEyes anduri plokk. Ploki paigaldamise protsess:

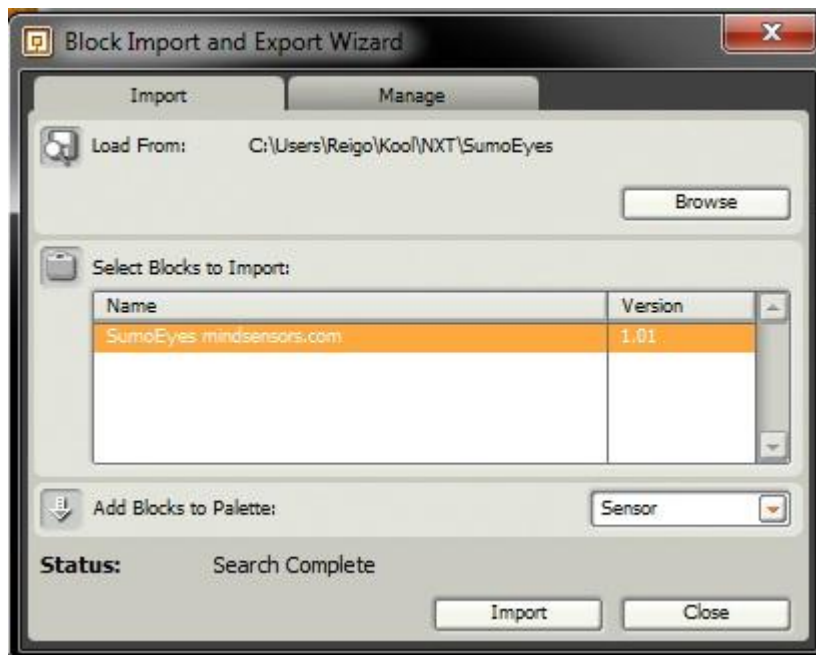
1. Vajalikud failid on kokkupakitud ZIP laiendiga arhiivifaili. Need failid tuleb lahti pakkida sobivasse kausta, mille võib ise valida.
2. Käivitada NXT programm.
3. Menüüribalt valida *Tools* ja sealt järgmisena valida *Block Import and Export Wizard...* (vt joonis 14).



Joonis 14: Menüüvalik ploki importimiseks.

4. Avanenud aknas klõpsata nupule *Browse* ning avanenud aknas valida kaust, kuhu sai esimeses punktis mainitud failid lahti pakitud ja klõpsata *OK*.
5. Väljal *Select Blocks to Import*: valida aktiivseks (Oranž taust) "SumoEyes mindsensors.com" valik. (vt joonis 15).

6. Rippmenüüst *Add Blocks to Palette*: valida valik “Sensor”, mis tagab selle, et NXTSumoEyes paigutatakse sensorite alla (vt joonis 15).



Joonis 15: Importimise valikud.

7. Sensori ploki importimiseks vajutada nupule *Import*.

Kui eelnev protseduur on läbitud siis on NXT programmeerimiskeskonnas andurite juurde tekkinud suurte silmadega konna kujutav NXTSumoEyes anduri plokk nagu joonisel 16.



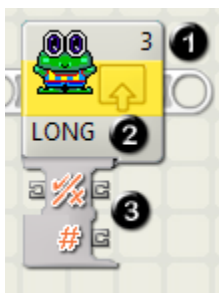
Joonis 16: NXT sensorid NXT programmeerimiskeskonnas.

Valides sensorite paletist NXTSumoEyes anduri (ingl.k *Sensor*) ploki, on seda nüüd võimalik paigutada oma programmis vajalikku kohta. Nüüd oleks vaja selgitada anduri ploki seadete ja siltide erinevad tähendused.

2.3.2 NXTSumoEyes anduri plokk

Selleks, et NXTSumoEyes andurit võimalik efektiivselt ära kasutada oma programmides, on järgnevalt välja toodud anduriploki ja omadustepaneeli erinevate väljade ja seadete tähendused.

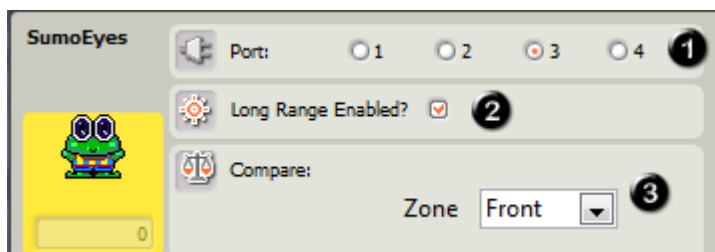
Anduriploki seadete tähendused jooniselt 17:



Joonis 17: Ploki kokkuvolditud vaade.

1. Number, mis on plokil, näitab millisesse NXT juhtploki porti on sensor ühendatud. Kui anduri ühendamiseks kasutatakse erinevat porti, tuleks muuta pordinumber ka programmplokil.
2. See sõna näitab, kas sensor on lülitatud lähi või kauge mõõteala peale (ingl.k. *LONG* ja *SHORT*).
3. Seadme omadustepaneel, mis avaneb automaatselt, kui plokk asetatakse programmeerimislauale. Väljundeid ja sisendeid on võimalik ühendada teiste programmplokkidega.

Omadustepaneeli seadete tähendused jooniselt 18:



Joonis 18: NXTSumoEyes omadustepaneel.

1. Pordi number, kuhu andur on ühendatud
2. Anduri mõõteulatus. Pikemas mõõtealas (ingl.k. *Long Range*) mõõdab andur kuni 30cm kauguselt. Lühemas mõõtealas tajub andur takistusi, mis asuvad lähemal kui 15cm.
3. Mõõtetsooni määramine (ingl.k. *Left, Front, Right*). Kui takistus leitakse vastavas määratud tsoonis, siis tagastab andur väärtuse True.

Anduri ploki laiendatud seadete tähendused jooniselt 19:



Joonis 19: NXTSumoEyes ploki laiendatud seaded.

1. **Look in this zone (Otsida antud tsoonist)** - See sisendport laseb määrata, millisest tsoonist sensor peaks takistust otsima.
Sisendiks tuleb kasutada numbreid vastavalt:
 - Front - 0 - Ees
 - Right - 1 - Parem
 - Left - 2 - Vasak
2. **Long Range Enabled? (Kauge mõõteala sisselülitatud?)** - See sisendport laseb määrata, kas sensori kauge mõõteala on sisselülitatud. (True, kui soovitakse sisse lülitada kauge mõõteala ja False, kui soovitakse sisse lülitada lähi mõõteala). Väljundport võimaldab väljastada tõeväärtuse (True, False) , vastavalt sellele kas anduril on kauge mõõteala sisselülitatud
3. **Obstacle found? (Takistus leitud?)** - Väljundport tagastab True või False, vastavalt sellele, kas määratud mõõtealas leitakse takistus või mitte.

4. **Which zone is Obstacle in? (Millises tsoonis takistus asub?)** - Kui leitakse takistus, tagastatakse vastav number mis tähistavad tsooni:
- Front - 0
 - Right - 1
 - Left - 2
 - None - 3
5. **Is it Front? (Kas asub ees?)** - Väljundport tagastab True või False, vastavalt sellele, kas otse ees olevas mõõtealas leitakse takistus või mitte.
6. **Is it Right? (Kas asub paremal?)** - Väljundport tagastab True või False, vastavalt sellele, kas parempoolses mõõtealas leitakse takistus või mitte.
7. **Is it Left? (Kas asub vasakul?)** - Väljundport tagastab True või False, vastavalt sellele, kas vasakpoolses mõõtealas leitakse takistus või mitte.
8. **Raw Value (Töötlemata väärtus)** - Väljundport tagastab numbrilise väärtuse, mis saadetakse sensori poolt:
- Takistus leitud vasakult poolt: 30-36
 - Takistus leitud paremalt poolt: 63-69
 - Takistus leitud otse eest: 74-80

Kui on selgeks tehtud NXTSumoEyes anduri ploki erinevate seadete tähendused võib edasi liikuda ülesannete juurde.

3. Ülesandeid NXTSumoEyes andurile

Antud peatükis on lahendamiseks loodud ülesanded NXTSumoEyes kolmesuunalisele kaugusandurile. Ülesanded on jagatud erinevate raskustasemetega vahel: lihtne, kerge, raske. Erinevad raskustasemed tagavad selle, et anduriga tutvuja saaks alustada lihtsamatest lahendustest ja vajadusel edasi liikuda. Samuti tagavad raskemad ülesanded ka edasijõudnutele ja osavamatele õppijate tegevuse NXTSumoEyes anduriga ja NXT robotikomplektiga.

Iga ülesande juures on välja toodud raskustase, eesmärgid, vajalikud eelteadmised ja ülesande püstitus. Juhuks, kui ülesande lahendajal puudub idee, kust alustada, on kirjas ka lahenduse idee, mis annab kätte suuna ülesande lahendusele. Õpetaja jaoks on kirja pandud ka üks võimalik lahendusvariant koos tekkida võivate probleemidega ja nende lahendamise juhised. Samuti on lisas 1 olemas konkreetsete ülesannete lahendusfailid.

3.1 Ülesanne 1. Kaugusanduri väärtuse jälgimine

Tase:

Lihtne.

Eesmärgid:

- NXTSumoEyes anduri tutvustamine ja kasutamine.
- NXTSumoEyes anduriploki tutvustamine.
- NXT-G programmeerimiskeskonna tutvustamine.
- Väljastada anduri mõõteväärtused ekraanile

Vajaminevad komponendid:

- NXTSumoEyes kolmesuunaline kaugusandur
- LEGO MINDSTORMS NXT juhtplokk
- LEGO klotsid roboti ehitamiseks
- Kaabel anduri ühendamiseks
- Programmeerimiskeskond NXT-G koos NXTSumoEyes plokiga

- Liigutatav takistus

Ülesande püstitus:

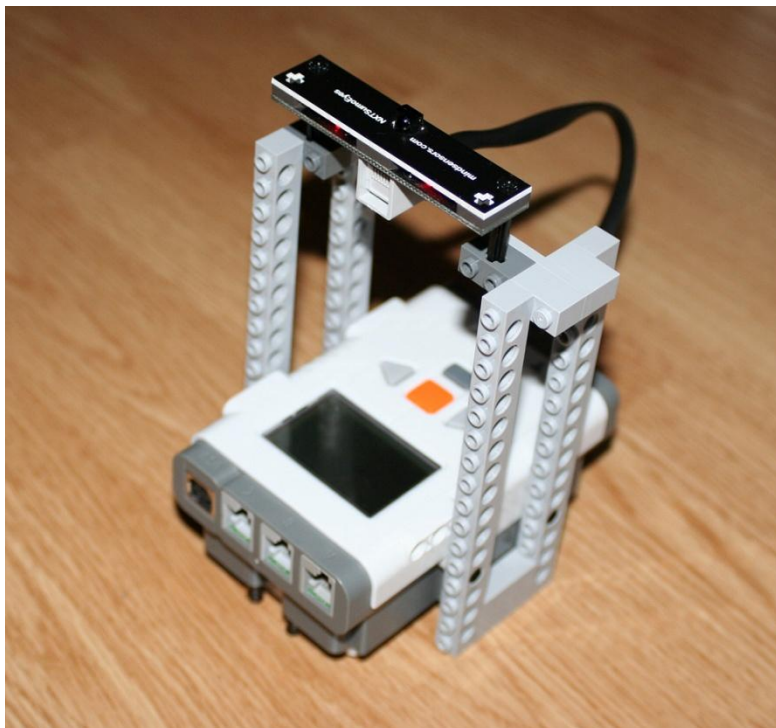
Joosep soovib teada, mis väärtusi andur täpsemalt tagastab. Ehitada võimalikult minimalistlik robot mis kuvab reaajas NXTSumoEyes tagastatavaid väärtusi. Takistuse liigutamisel anduri ees vasakult paremale peaks ekraanil kuvatav väärtus muutuma.

Lahenduse idee:

Lugeda andurist saadetak toorväärtus ja saata see kuvamiseks NXT juhtploki ekraanile. Selleks et tagada väärtuse uuenemine, peaks programm asuma tsüklis.

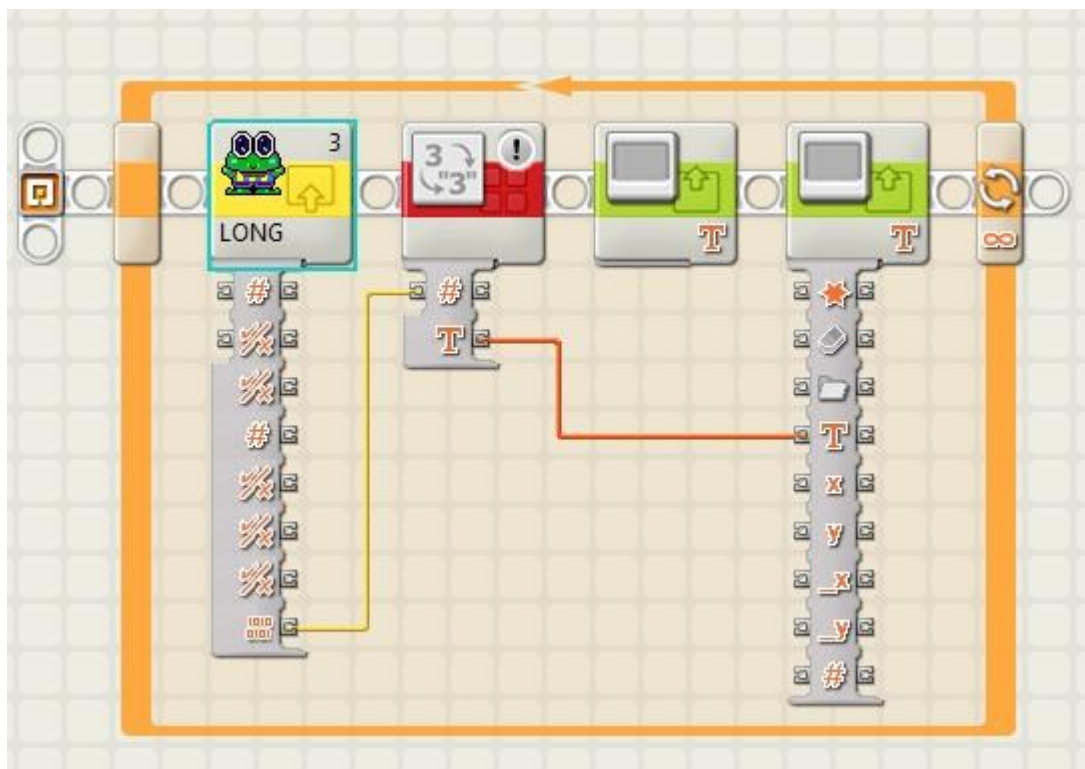
Üks võimalik lahendus:

Ülesannet on võimalik lahendada robotiga, mis on joonisel 20.



Joonis 20: NXTSumoEyes anduri tutvumiseks ehitatud robot

Ülesande üks võimalik lahendus on välja toodud joonisel 21. Lisada NXT-G programmeerimisalale tsükli plokk. Tsüklist lisada NXTSumoEyes anduri plokk. Plokis saadav mõõtmise toorväärtus lisada arvu sõneks konverteerimise (ingl.k. *Number to Text*) plokki sisendiks. Järgmisena lisada kaks ekraanile kuvamise (ingl.k. *Display*) plokki. Esimene ekraanile kuvamise plokk võiks ekraanile kuvada “Tulem:”. Teine ekraanile kuvamise plokk kuvab ekraanile väärtuse, mille sisend tuleb arvu sõneks konverteerimise plokist.



Joonis 21: NXTSumoEyes anduri väärtusi ekraanile väljastav programm.

Võimalikud probleemid:

- Ekraanil kuvatud tulem vilgub.
Lahenduseks on jälgida, et ekraanile kuvamise ploki omadustepaneelis ei oleks linnukest valikus *Display: Clear*.
- Andurist saadav toorväärtus saadetakse otse ekraanile ja siis ei kuvata väärtust.
Lahenduseks saata väärtus enne arvu sõneks konverteerimise (ingl.k. *Number to Text*) plokki ja sealt sõne edasi ekraani plokki.

Ideid ülesande muutmiseks:

- Vastavalt tagastatavale väärtusele väljastada ekraanile sõnaliselt, kas takistus asub anduri ees, paremal või vasakul. Lülitite (ingl.k. *Switch*) kasutamine aitab eristada väärtusi ja erinevaid väljastatavaid väärtusi.

Lahendusfail tööle lisatud CD-plaadil: `nxtsumo_1.rbt`

3.2 Ülesanne 2: Keerutaja

Tase:

Kerge.

Eesmärgid:

- NXTSumoEyes anduri tutvustamine ja kasutamine.
- NXTSumoEyes anduriploki tutvustamine.
- NXT-G programmeerimiskeskonna tutvustamine.
- Robot liigutamine soovitud suunda.

Eelteadmised:

- Tsüklid, lülitid.
- Anduriploki väljastatavad väärtused.

Vajaminevad komponendid:

- NXTSumoEyes kolmesuunaline kaugusandur.
- LEGO MINDSTORMS NXT juhtplokk.
- LEGO klotsid roboti ehitamiseks.
- mootorid roboti liigutamiseks
- Kaabel anduri ühendamiseks.
- Programmeerimiskeskond NXT-G koos NXTSumoEyes plokiga.
- Liigutatav takistus.

Ülesande püstitus:

Anni soovib endale robotit, mis keerab ennast kohapeal soovitud suunda. Keerutamine peaks toimuma mingi objekti järgi, mida jälgitakse NXTSumoEyes sensoriga. Objekti liigutatakse ümber roboti.

Lahenduse idee:

Roboti ehitamiseks võib kasutada LEGO Tri Bot [34] roboti aluskaarikut, mille juhend on kaasas ka LEGO MINDSTORMS EDUCATION standardkomplektiga. Kasutades tsükleid saab tagada selle et väärtust loetakse pidevalt reaajas. Lülitite kasutamisega saab määrata millisesse suunda robot peaks pöörama ja millal seisma jääma.

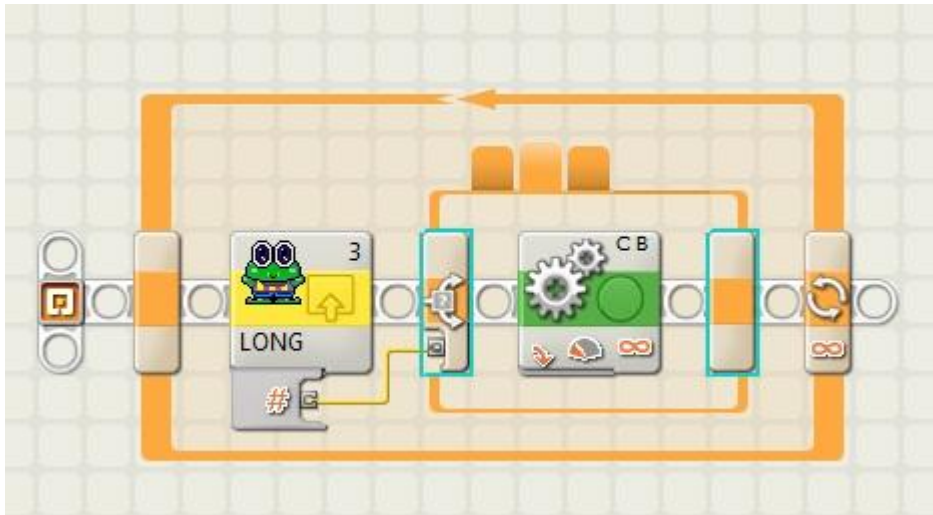
Üks võimalik lahendus:

Ülesande lahendamiseks üks võimalikke ehitatud roboteid, kus NXTSumoEyes andur asub roboti kohal, asub joonise 22.



Joonis 22: Keerutaja robot.

Üks võimalikke ülesande lahendusi on välja toodud joonisel 23. Tsükli sisse on asetatud NXTSumoEyes anduri plokk, kust loetakse anduri poolt saadetavaid väärtusi. Väärtused saadetakse lülitiplokki (ingl.k. *Switch*), kuhu on erinevate väärtuste juurde pandud roboti liigutamise plokid (ingl.k. *Move*). Lüliti see väärtus, mis määrab ära objekti asumise anduri otse ees oleval alal, tuleks lüliti omadustepaneelis määrata *default* väärtuseks (teha väärtus aktiivseks ja vajutada tärniga nuppu). See tagab selle, et robot ei keeruta ootamatult ringi.



Joonis 23: Keerutaja ülesande lahendus

Võimalikud probleemid:

- Robot keerutab niisama ringi.

Lahendus: Lülitiplokis *default* väärtuseks panna see, mis määrab objekti asumise anduri ees.

- Robot ei tee midagi.

Lahendus: Kontrollida üle, kas anduri poolt saadetavad väärtused on samad mis on defineeritud lülitiplokis.

Lahendusfail tööle lisatud CD-plaadil: `nxtsumo_2.rbt`

3.3 Ülesanne 3: Valvur

Tase:

Raske

Eesmärgid:

- NXTSumoEyes anduri tutvustamine ja kasutamine.
- Ultrahelianduri kasutamise tutvustamine.
- NXT-G programmeerimiskeskonna tutvustamine.
- Roboti liigutamine takistuse juurde.
- Takistuse järgimine.

Eelteadmised:

- Muutujate seadmine.
- Tsükliid ja lülitiid.
- Loogikafunktsioonid.

Vajaminevad komponendid:

- NXTSumoEyes kolmesuunaline kaugusandur.
- NXT Ultraheliandur.
- LEGO MINDSTORMS NXT juhtplokk.
- LEGO klotsid roboti ehitamiseks.
- Mootorid.
- Vajalikud kaablid andurite ja mootorite ühendamiseks.
- Programmeerimiskeskond NXT-G koos NXTSumoEyes plokiga.
- Suurem tühi ruum.
- Liigutatav takistus.

Ülesande püstitus:

Laoplatsti omanik Kati soovib robotit, mis valvab tühja platsi. Sissetungija avastamisel peab robot liikuma sissetungija juurde ning teda mitte silmist laskma enne, kui korralvalvurid või

Kati ise kohale jõuab ja sissetungijaga edasi tegeleb. Robot peab hoidma sissetungijaga vahemaad, ehk kui sissetungija püüab robotile läheneda, siis robot liigub eemale.

Lahenduse idee:

Roboti ehitamiseks võib kasutada LEGO Tri Bot [32] roboti aluskaarikut, mille juhend on kaasas ka LEGO MINDSTORMS EDUCATION standardkomplektiga. Vastavalt vajadusele sinna andureid külge panna. Programmi konstrueerimisel kasutada NXTSumoEyes anduri poolt mõõdetavat takistuse asukohta lülitiblokis (ingl.k. *Switch*). Erinevatel takistuse asukohtadel tehakse erinevaid tegevusi. Ultraheliandur aitab vältida takistusele otsa sõitmist. Takistuse asukoha määramisele aitavad kaasa eelmised ülesanded.

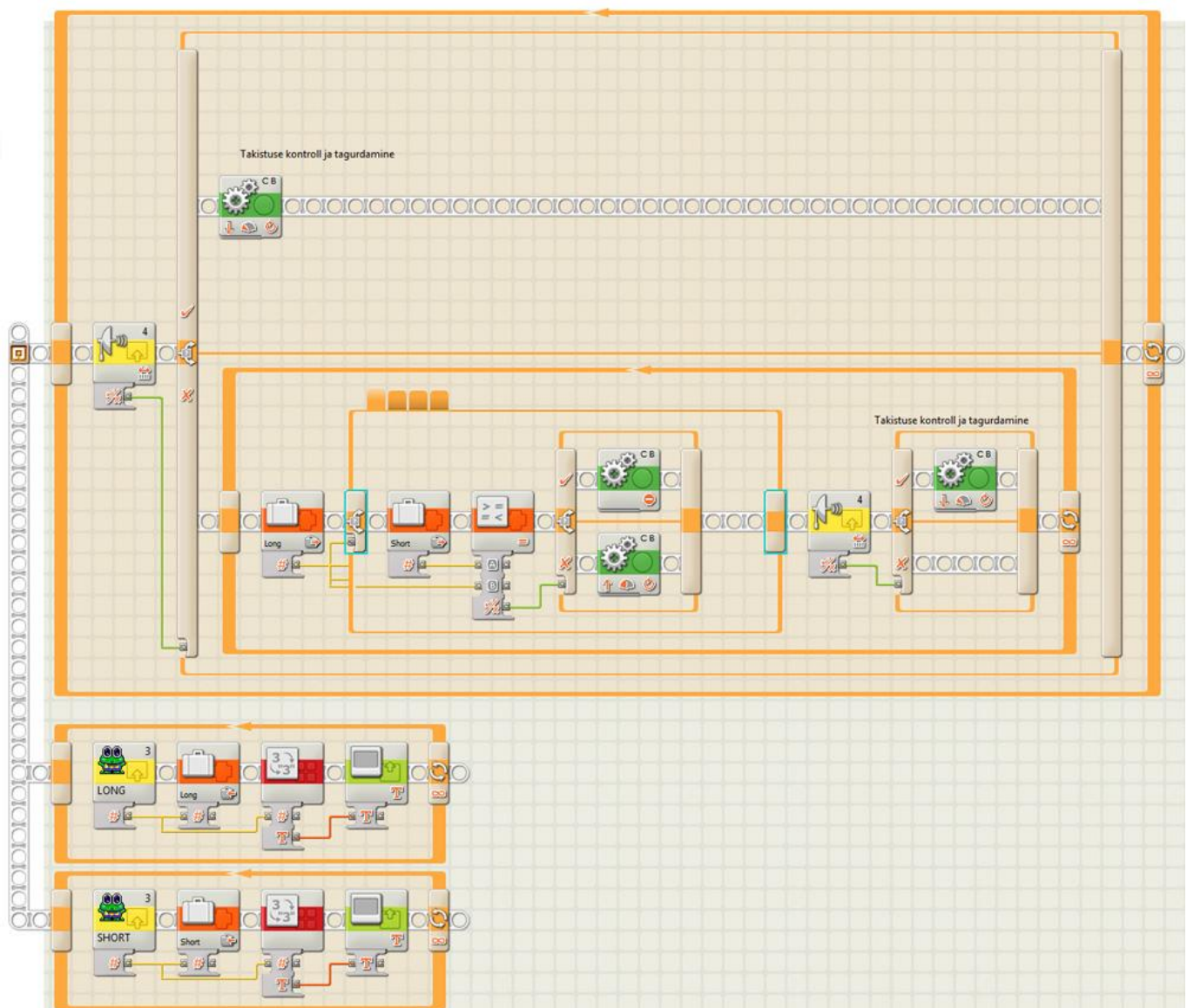
Üks võimalik lahendus:

Üks võimalikke ülesandes kasutatavaid roboteid on näha järgneval joonisel 24. Vastavalt sellel kuhu on paigutatud ultraheliandur, peab programmis määrama ka reageerimise kaugused.



Joonis 24: Laoplatsi valvav robot.

Ülesande üks võimalik lahendus on välja toodud joonisel 25. Programm koosneb kolmest eraldi jooksvast tsüklist. Esimene (ülemine) tsükkel on programmi põhiosa, mis tagab selle et robot jälitaks vaateväljas olevat takistust ja vajadusel taganeks. Teised kaks tsükli loevad vastavalt NXTSumoEyes anduri lühema ja kaugema mõõteala väärtusi. Väärtused kirjutatakse muutujatesse (ingl.k *Variable*) ja neid muutujaid loetakse eelpool nimetatud programmi põhiosas. Lisaks väärtuste kirjutamisega muutujatesse väljastatakse mõõteväärtused ka NXT juhtploki ekraanile.



Joonis 25: Laoplatsi valvava roboti programm.

Võimalikud probleemid:

- Ekraanil kuvatud tuleml vilgub.
Lahenduseks on jälgida, et ekraanile kuvamise ploki omadustepaneelis ei oleks linnukest valikus *Display: Clear*.
- Robot otsib takistust kuid selle olemasolul ei reageeri.
On võimalik, et robot keerleb takistuse otsimisel liiga kiiresti, et andur ei jõua lugeda tagasi peegelduvat infrapunakiirt. Lahenduseks on vähendada võimsust või liikumise vahemaad liikumisplokis, mis liigutab robotit.

Ideid ülesande muutmiseks:

- Lisada robotile juurde nupp, mis lülitab roboti sisse ja välja.
- Lisada programmi juurde heli (ingl.k. *Sound*) plokid, et robot hakkaks huilgama, kui leiab takistuse.

Lahendusfail tööle lisatud CD-plaadil: `nxtsumo_3.rbt`

Sõnastik

lainepikkus - FÜÜS kahe lähima laine ühes ja samas faasis oleva punkti vaheline kaugus; EL vahemaa, mille läbib elektromagnetlaineline ühe võnke jooksul. [35]

analoogandur - analoogandur kogub nõ toorest materjali pidevalt skaneerides ja võib tagastada erinevaid väärtusi mõõtepiirkonnas. Vastupidiselt digitaalandurile, millel on kaks väärtust - sees või väljas. [36]

molekulaarpilv- Tähtedevahelise gaasi ja tolmu pilv, mis koosneb peamiselt molekulaarsest vesinikust. [37]

port - lüli, mille abil protsessor on ühenduses välisseadmega. [38]

Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli tutvustada Mindsensor NXTSumoEyes kolmesuunalist kaugusandurit ning luua erineva raskustasemega ülesanded, mida oleks võimalik lahendada koos LEGO MINDSTORMS NXT robotikakomplektiga.

Töös tutvustati kolmesuunalist kaugusandurit, selle tehnilisi andmeid ja kasutusvõimalusi. Kaugusanduri tööpõhimõttest arusaamiseks selgitati ka infrapunakiirguse olemust ja tema seost töös uuritava anduriga. Lisaks anduri tehnilisele kirjeldamisele ja ülevaatele anti ka ülevaade selle programmeerimisest NXT-G programmeerimiseskkonnas.

Töö osana valmisid anduri jaoks kolm erinevate raskusastmetega ülesannet, mis on mõeldud lahendamiseks koolides tegutsevates robotikatundides. Kõigi ülesannete juures on välja toodud eesmärgid, eelteadmised ja vajaminevad komponendid. Kirjas on ka ülesande püstitus, mis toob välja soovitava tulemi. Ülesannete lahendamisele kaasa aitamiseks on lühidalt kirjeldatud lahenduse idee ning ka üks võimalik lahendus vastavale ülesandele. Iga ülesande juures on välja toodud ka tekkida võivad probleemid ning nende lahendused. Kõik ülesanded on esitatud kaasasoleval CD andmekandjal, mis asub lisas.

Antud bakalaureusetöö kirjutamise järgiti etteantud vormistusnõuded ning tekst püüti kirjutata võimalikult arusaadavalt ja mõistetavalt. See oli vajalik kuna antud materjale on kavas kasutada koolide robotikatundides, kus ülesandeid võivad õpetada erinevad aineõpetajad.

Tööd on võimalik edasi arendada luues rohkem ülesandeid, kuhu on kaasatud antud töös kirjeldatud andurit.

LEGO MINDSTORMS NXT: NXTSumoEyes Dual Range, Triple Zone Infrared Obstacle Detector - Overview and Exercises

Bachelor Thesis

Reigo Liiv

Summary

The main goal of this bachelor thesis was to give overview and explain the use and programming of NXTSumoEyes Dual Range, Triple Zone Infrared Obstacle Detector sensor.

This thesis consists of three main parts which are introduction to the physical phenomenon behind the sensors working principle, overview of the sensor and its programming and exercises for solving with NXTSumoEyes sensor.

The first section tells us about infrared and how it can be used all around in our everyday lives, making life easier.

The second section talks about specificities related to the sensor and gives us an overview and knowledge to start programming a robot with a given sensor.

The last part of the thesis consists of three exercises with different difficulty levels that were created keeping in mind the use of the NXTSumoEyes sensor. Every exercise has a description of what needs to be done, some help for solutions, and one possible detailed solution, that has been tested working. In case there should be some problems, a possible problems section with answers is given after every exercise. Solutions for the exercises in the NXT-G development environment are on the CD that's added to the extras of this bachelor's thesis.

Allikad

1. Kooliroboti projekt, <http://www.robootika.ee/lego/joomla>, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
2. Mindsensors kodulehekülg, <http://www.mindsensors.com/>, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
3. HiTechnic kodulehekülg, <http://www.hitechnic.com>, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
4. Vernier kodulehekülg, <http://www.vernier.com>, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
5. Martin Suvorov (2011), Bakalaureusetöö “Infosüsteem materjalide haldamiseks RAJU keskusele”
6. Kirchhoff's law and Spectral lines, <http://crab0.astr.nthu.edu.tw/~hchang/ga1/ch05-03.htm>, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
7. Infrared astronomy, http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom/ir_tutorial/discovery.html, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
8. Vikipeedia, „Infrapunakiirgus“, <http://et.wikipedia.org/wiki/Infrapunakiirgus>, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
9. Infrapuna.ee, „Termograafia tutvustus“, http://www.infrapuna.ee/web/?lang=et&page_id=2, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
10. Wikipedia, „Sunlight“, <http://en.wikipedia.org/wiki/Sunlight>, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
11. e-Öppe Arenduskeskus, „Ehitusfüüsika konspekt IX osa“, http://www.e-ope.ee/download/euni_repository/file/1030/Ehitusf%C3%BC%C3%BCsika%20konspekt%20IX%20osa.pdf, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
12. Wikipedia, „Insolation“, <http://en.wikipedia.org/wiki/Insolation>, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
13. Wikipedia, „Infrared“, <http://en.wikipedia.org/wiki/Infrared>, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
14. American, Technologies Network corp. „How Night Vision Works“, <http://www.atncorp.com/hownightvisionworks>, (Viimati vaadatud 01.06.2011).

15. Ants Meister, Toomas Ruuben, „Modulatsioon“,
<http://www.lr.ttu.ee/modulatsioon/2010sygis/IRO0010%20Esimene%20loeng.pdf>,
(Viimati vaadatud 01.06.2011).
16. SB- Projects, „IR remote control“, <http://www.sbprojects.com/knowledge/ir/ir.htm>,
(Viimati vaadatud 01.06.2011).
17. HowStuffWorks, „How Night Vision Works“,
<http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/other-gadgets/nightvision.htm>,
(Viimati vaadatud 01.06.2011).
18. Stealth IR thermal infrared imaging night vision FLIR,
http://www.ir55.com/Thermoview_TI30.html, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
19. YouTube, „Night Vision versus Thermal Imaging“,
<http://www.youtube.com/watch?v=rAvnMYqj2c0>, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
20. Wikipedia, „F-15E LANTIRN IR HUD image“,
http://en.wikipedia.org/wiki/File:F-15E_LANTIRN_IR_HUD_image.jpg,
(Viimati vaadatud 01.06.2011).
21. Wikipedia, „LANTIRN“, <http://en.wikipedia.org/wiki/LANTIRN>, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
22. FLIR PTZ Forward Looking InfraRed cameras,
<http://www.x20.org/thermal/FLIR.htm>, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
23. HowStuffWorks, „How In-dash Night-vision Systems Work“,
<http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/automotive/in-dash-night-vision-system.htm>, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
24. CarArcade, „2010 Mercedes E-Class“,
<http://cararcade.blogspot.com/2009/05/2010-mercedes-e-class-sedan-first-drive.html>, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
25. XWare, „Possible Planets And Infrared Dust“,
<http://www.astronet.ru/db/xware/msg/apod/1999-01-20>, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
26. NASA, Space Infrared telescope Facility,
<http://www.jpl.nasa.gov/multimedia/sirtf/hires.html>, (Viimati vaadatud 01.06.2011).

27. „Valguse peegeldumine ja murdumine“,
http://mudelid.5dvision.ee/valgus/valgus_teorია.htm, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
28. Vikipeedia, „Albeedo“, <http://et.wikipedia.org/wiki/Albeedo>, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
29. „Valguse neeldumine“, http://mainer.planet.ee/valguse_neeldumine.html, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
30. Vikipeedia, „Hajumine“, <http://et.wikipedia.org/wiki/Hajumine>, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
31. „Valguse hajumine“, http://www.hantak.com/images/blog/brdf/light_diffuse.png, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
32. Mindsensors, „Dual Range, Triple Zone Infrared Obstacle Detector for NXT (NXTSumoEyes)“,
http://www.mindsensors.com/index.php?module=pagemaster&PAGE_user_op=view_page&PAGE_id=75, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
33. Mindstorms, „NXTSumoEyes V1.0 User Guide“,
http://www.mindsensors.com/index.php?module=documents&JAS_DocumentManager_op=viewDocument&JAS_Document_id=109, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
34. Mindstorms, „building instruction“, <http://mindstorms.lego.com/en-us/support/buildinginstructions/8527-/Tribot.aspx>, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
35. Eesti Keele Instituut, "Eesti keele seletav sõnaraamat",
<http://www.eki.ee/dict/ekss/index.cgi?Q=lainepikkus&F=M>, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
36. „Sensor Design“,
<http://www.clear.rice.edu/elec201/Book/sensors.html#SECTION00151100000000000000>, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
37. Tartu Observatoorium, <http://www.aai.ee/~tiia/sonastik/186.htm>, (Viimati vaadatud 01.06.2011).
38. Eesti Keele Instituut, "Eesti keele seletav sõnaraamat",
<http://www.eki.ee/dict/ekss/index.cgi?Q=port&F=M>, (Viimati vaadatud 01.06.2011).

LISAD

Lisa 1. CD ülesannete lahendusfailidega

Tabelis 2 on välja toodud CD peal asuvad failid oma nimetuste ja vastavate ülesannetega.

Faili nimi	Ülesanne
nxtsumo_1.rbt	3.1 Ülesanne 1. Kaugusanduri väärtuse jälgimine
nxtsumo_2.rbt	3.2 Ülesanne 2: Keerutaja
nxtsumo_3.rbt	3.3 Ülesanne 3: Valvur

Tabel 2: CD peal olevad failid